

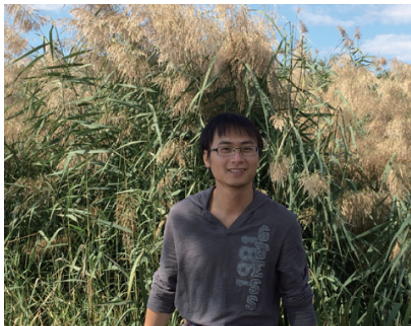
·科技纵横捭阖·

关于超级电容器的研究趋势与应用

当今世界气候变化和环境问题日益加剧,特别是温室气体的排放导致的全球变暖,引起了海平面上升、冰川退缩等一系列破坏自然生态系统平衡问题的出现。为了防止剧烈的气候变化对人类造成危害,各国政府纷纷加入《联合国气候变化框架公约》,并鼓励研究与应用新型可再生能源来替代化石燃料。对于太阳能和风能等可再生能源,由于资源丰富,近几年其装机容量迅速增加。但是,这些可再生能源受环境因素的影响,不能保证实时供应。同时,各地资源分布的不均衡也致使其使用范围受限制。而电能,这种灵活、高效、成熟的能量形态赋予了可再生能源应用腾飞的翅膀,将成为可再生能源主要的存储方式。而近几年来,随着物联网时代的到来,手机等智能终端越来越普及,信息传感设备的更加智能化和小型化要求在更小的体积内实现更多的技术应用,这对其电能存储系统的能量密度和输入输出功率提出了更高的要求。因此,关于电能存储的研究受到广泛关注。

目前常用的电能存储系统主要分为锂离子电池和电容器。锂离子电池是索尼公司于1990年最先提出的,经过多年发展,虽然成本高,但由于具有较高的能量密度($180\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$),目前仍是应用最广的电能量存储系统。但是,锂离子电池的充放电过程属于化学氧化还原反应,受电解质扩散控制,其功率密度较低,充放电稳定性不高,可重复使用次数也有限。而传统的电容器充放电只是物理过程,电解质离子吸附在电极表面,能在数秒内完成充放电过程,其功率密度能达到 $10\text{kW}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由于不存在化学过程,电容器的重复使用次数能够达到数十万次。但是,正因为电容器的电荷只能贮存在电极有限的表面上,其能量密度远低于锂离子电池。超级电容器作为一种新型电容器,则被期望能够综合锂离子电池和传统电容器两者的优点。

超级电容器根据电荷存储机理可以分为电化学双电层电容器和赝电容器。电化学双电层电容是离子在电极表面附近发生物理吸附所引起的,电极的面积



越大,离子在电极表面吸附的就越多,电容也越大,因此,提高电化学双电层电容的关键在于使用具有高比表面积和良好导电性的电极材料。目前关于石墨烯、碳纳米管等碳材料的研究较多;同时,也有研究表明,多孔材料的结构如孔径尺寸和分布对电容也会产生影响,通过对材料的结构进行设计优化,可以获得较高的电容。虽然电化学双电层电容具有优越的功率密度和充放电稳定性,然而,它具有能量密度较低的缺点。

电化学赝电容,和锂离子电池类似,是通过电池材料上的活性物质表面的可逆氧化还原反应产生的化学能来将电能存储和释放的,因此具有较高的能量密度。这类活性材料主要包括过渡金属氧化物和导电高分子材料。但是由于存在氧化还原反应,赝电容和锂离子电池一样,其功率密度和充放电稳定性不高。

综上所述,获得具有电化学双电层电容和电化学赝电容两者优点的超级电容器——既具有较高功率密度,又有较高能量密度——已成为研究人员的共识。目前电极材料的研究热点主要是石墨烯等导电碳材料和导电高分子材料与具有较高电化学赝电容的过渡金属氧化物等材料的复合^[1]。有研究人员提出建立所谓“纳米复合超级电容器”的概念,这种复合超级电容器的正负电极材料是将钛酸锂等锂离子电池材料嵌入到活性炭或其他碳材料模板中^[2]。这样既克服了超级电容器能量密度低的缺陷,又保证了电化学双电层电容较高的功率密度的优点。

超级电容器的研究除了获得具有优异的电化学性能之外,在实际生产应用

中成本的降低也是重要的目标之一。柔性电子技术,作为一种新兴电子技术,极大地降低了电子器件的制造成本,并将带来一场电子革命。手机、可穿戴电子设备和电子屏等器件的柔性化将成为未来发展的趋势,而柔性超级电容器作为一种柔性的电能存储器件,也将拥有广阔的市场需求。柔性超级电容器不仅仅要求电极材料本身具有优越的电化学性能,也要能够与柔性材料结合成具有高柔性的电极。目前研究较多的柔性材料包括金属(包括铝、铜、钛等)、碳材料(包括石墨烯、碳纳米管、碳纤维等)、织物(包括纤维、棉花和涤纶)、导电高分子等材料^[3]。而如何在柔性基底上获得较高的电容特性,仍须继续深入研究。

目前,超级电容器所具备的性能,不管是电化学性能还是成本控制,暂时都还不能达到人们的期望。因此,关于超级电容器的研究仍将继续,而对超级电容器能量存储机理的深入探析与理解,以及各种新型材料的研发与问世,将大大促进高性能超级电容器的发展,最终使之成为实用化、低成本、高性能的新能源产品。

参考文献

- [1] Salunkhe R R, Lee Y H, Chang K H, et al. Nanoarchitected Graphene-Based Supercapacitors for Next-Generation Energy-Storage Applications [J]. Chemistry—A European Journal, 2014, 20: 13838-13852.
- [2] Naoi K, Naoi W, Aoyagi S, et al. New Generation “Nanohybrid Supercapacitor” [J]. Accounts of Chemical Research, 2013, 46(5): 1075-1083.
- [3] Dubal D P, Kim J G, Kim Y, et al. Supercapacitors Based on Flexible Substrates: An Overview [J]. Energy Technology, 2014, 2: 325-341.

文/邹飞,周海涛

作者简介 中国航空研究院,工程师。图片为本文第1作者。

(编辑 王丽娜)